บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

6.1 บทนำ

หลังจากการทดสอบความมีนัยสำคัญเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มี ผลกระทบต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล ขั้นตอนต่อไป คือการนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 2 ปัจจัย พบว่า ถ้าค่า P-Value ของ ปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือเพียง 2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ แรงที่ใช้ในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุล และขั้นตอนการทำ Final Torque

จากปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องจักรกระบวนการออกแบบการทดลองจึงใช้เวลาไม่มาก ดังนั้นระดับของแรงหมุนสกรูจะใช้เหมือนกับระดับที่ใช้ในการทำการทดสอบสมมติฐานส่วนการทำ Final Torque จะใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่ามาตรฐานที่ยอมให้ใช้ โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าวดังแสดงในตาราง 6.1

ตาราง 6.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		1	2	
1	แรงหมุนสกรูก่อนการปรับดุล (Pre-Torque)	0.4	0.8	In.lb
2	แรงหมุนสกรู Final Torque	2.4	4.4	In.lb

ตารางที่ 6.2 กำลังและจำนวนการทดลองซ้ำ

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Sigma = 0.17 Alpha = 0.05

Factors: 2 Base Design: 2, 4
Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points Per Block	Effect	Reps	Target Power	Actual Power
5	0.15	14	0.9000	0.9005
5	0.15	16	0.9250	0.9352
5	0.15	18	0.9500	0.9585
5	0.15	21	0.9750	0.9792
5	0.15	25	0.9900	0.9920
5	0.17	11	0.9000	0.9003
5	0.17	13	0.9250	0.9427
5	0.17	14	0.9500	0.9570
5	0.17	16	0.9750	0.9761
5	0.17	19	0.9900	0.9904

Factorial Design

Full Factorial Design

Factors:	2	Base Design:	2, 4
Runs:	77	Replicates:	18
Blocks:	none	Center pts (total):	5

จากผลการคำนวณพบว่า ที่จำนวนการทดลองซ้ำ 18 ครั้ง จะมีค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9582 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) ที่กำหนดไว้ที่ 0.950 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มีการทดลองซ้ำ 77 ซ้ำ นั่นคือ จะได้ว่าการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นแบบ 2^{-2} Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 18 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 5 จุด เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ควรมีการเพิ่ม 3 – 5 จุด เป็นการประหยัดจำนวนครั้งของการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ

6.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยบอกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6.4.3 การทดลอง

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จาก RunOder ของตาราง รวมทั้งสิ้น 77 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.3

กำหนดให้

A แทนปัจจัยแรง Pre-Torque

B แทนปัจจัยแรง Final Torque

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Pre-T	Fina-T	Delta of imbalance
13	1	1	1	-1	-1	-0.037
24	2	1	1	1	1	-0.0625
71	3	1	1	-1	1	-0.067
64	4	1	1	1	1	-0.0622
62	5	1	1	1	-1	-0.101
41	6	1	1	-1	-1	-0.043
11	7	1	1	-1	1	-0.129
20	8	1	1	1	1	-0.048
68	9	1	1	1	1	-0.104
12	10	1	1	1	1	-0.002
26	11	1	1	1	-1	-0.104
6	12	1	1	1	-1	0.027

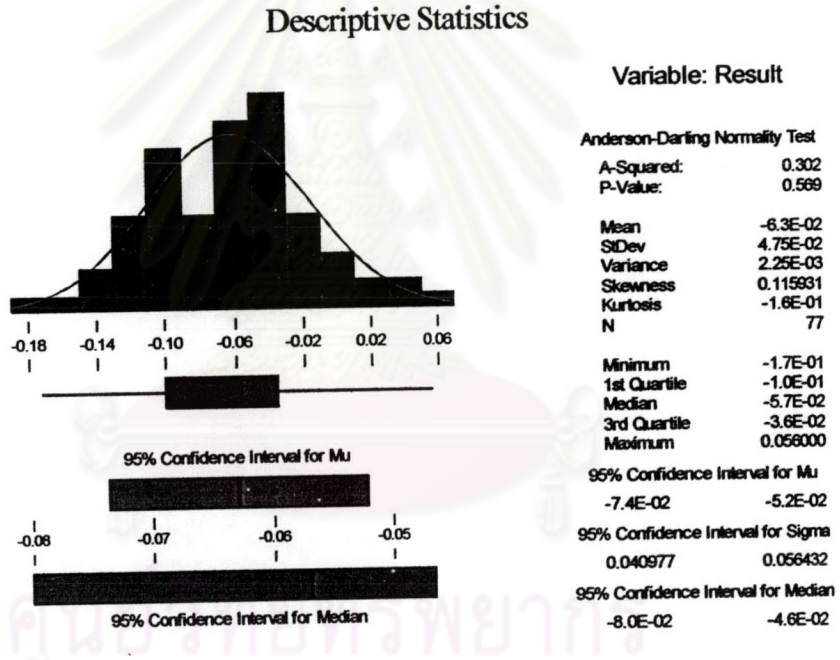
33	13	1	1	-1	-1	-0.055
21	14	1	1	-1	-1	0.056
55	15	1	1	-1	1	-0.1
77	16	0	1	0	0	-0.039
17	17	1	1	-1	-1	-0.02
76	18	0	1	0	0	-0.041
43	19	1	1	-1	1	-0.044
73	20	0	1	0	0	-0.057
66	21	1	1	1	-1	0.04
14	22	1	1	1	-1	-0.001
8	23	1	1	1	1	-0.094
7	24	1	1	-1	1	-0.053
60	25	1	1	1	1	-0.1
52	26	1	1	1	1	-0.08
34	27	1	1	1	-1	-0.012
49	28	1	1	-1	-1	-0.045
27	29	1	1	-1	1	-0.101
57	30	1	1	-1	-1	-0.02
29	31	1	1	-1	-1	-0.126
36	32	1	1	1	1	-0.038
54	33	1	1	1	-1	0.006
16	34	1	1	1	1	-0.032
32	35	1	1	1	1	-0.086
35	36	1	1	-1	1	-0.118
50	37	1	1	1	-1	-0.002
47	38	1	1	-1	1	-0.117
38	39	1	1	1	-1	-0.018
3	40	1	1	-1	1	-0.029
51	41	1	1	-1	1	-0.092
4	42	1	1	1	1	0.012
44	43	1	1	1	1	-0.081

46	44	1	1	1	-1	-0.039
69	45	1	1	-1	-1	-0.118
61	46	1	1	-1	-1	-0.045
65	47	1	1	-1	-1	-0.08
18	48	1	1	1	-1	-0.041
10	49	1	1	1	-1	-0.049
67	50	1	1	-1	1	-0.11
1	51	1	1	-1	-1	-0.141
39	52	1	1	-1	1	-0.143
53	53	1	1	-1	-1	-0.065
48	54	1	1	1	1	-0.098
70	55	1	1	1	-1	-0.053
74	56	0	1	0	0	-0.035
2	57	1	1	1	-1	-0.107
63	58	1	1	-1	1	-0.173
5	59	1	1	-1	-1	-0.083
23	60	1	1	-1	1	-0.152
37	61	1	1	-1	-1	-0.024
58	62	1	1	1	-1	-0.087
40	63	1	1	1	1	-0.053
9	64	1	1	-1	-1	0.038
75	65	0	1	0	0	-0.039
42	66	1	1	1	-1	-0.031
15	67	1	1	-1	1	-0.145
72	68	1	1	1	1	-0.083
22	69	1	1	1	-1	-0.062
28	70	1	1	1	1	-0.06
19	71	1	1	-1	1	-0.054
56	72	1	1	1	1	-0.07
25	73	1	1	-1	-1	-0.127

30	74	1	1	1	-1	-0.019
31	75	1	1	-1	1	-0.113
59	76	1	1	-1	1	-0.11
45	77	1	1	-1	-1	-0.051

6.5 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 77 การทดลองนั้น สามารถสรุปผลค่าตัวแปรตอบสนอง ได้ดังรูปที่ 6.1



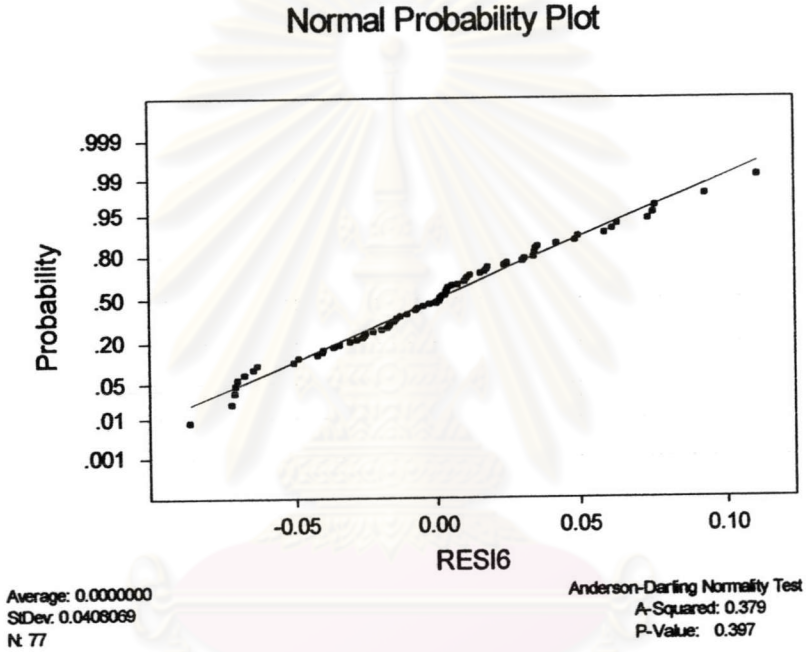
รูปที่ 6.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่ม

แบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งกราฟการกระจายจองค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้เป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 6.2

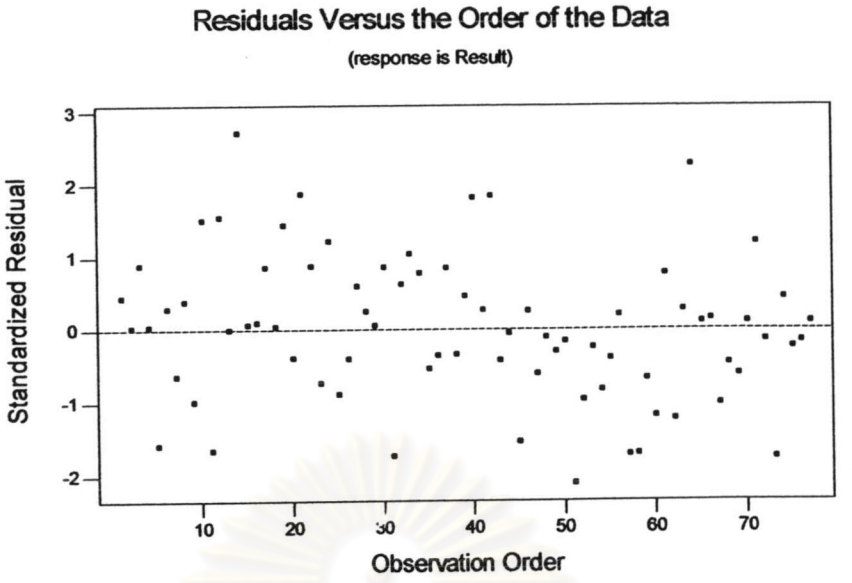


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.3 ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



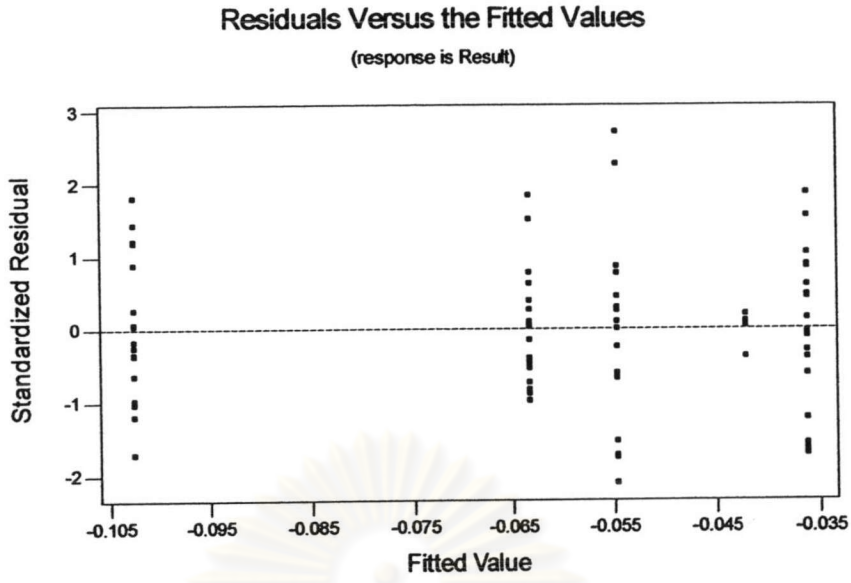
รูปที่ 6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.4 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะจะมีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

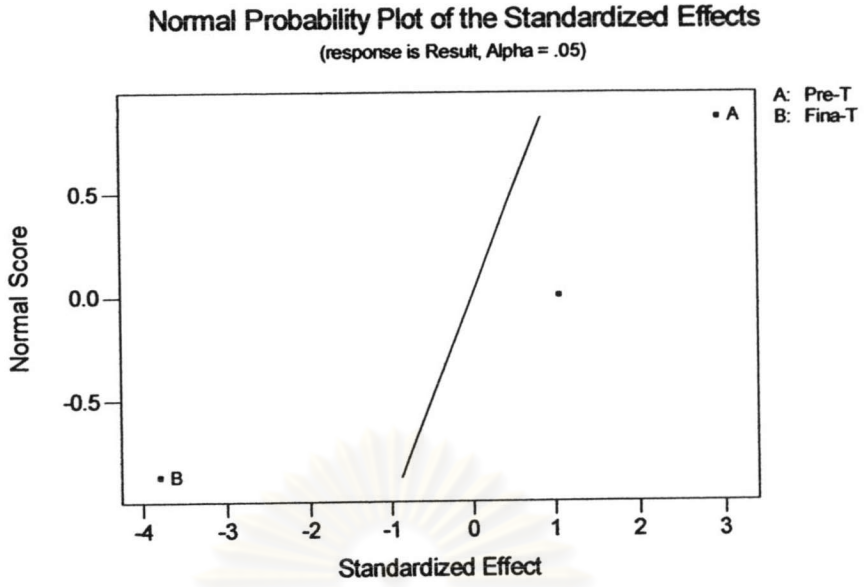


รูปที่ 6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

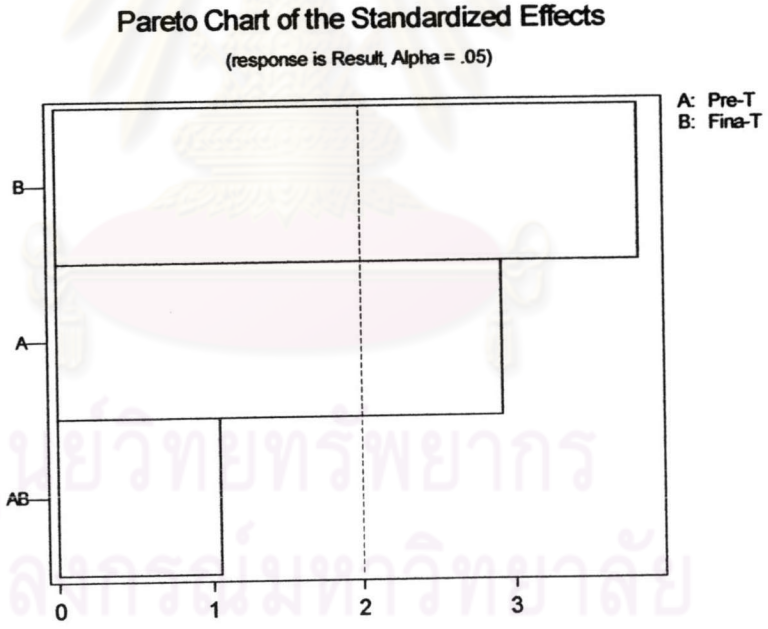
สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการของการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปของ Normal Probability Plot และแผนภูมิพาเรโต แสดงในรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ รวมถึงแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังแสดงในรูปที่ 6.7 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังแสดงในรูปที่ 6.8

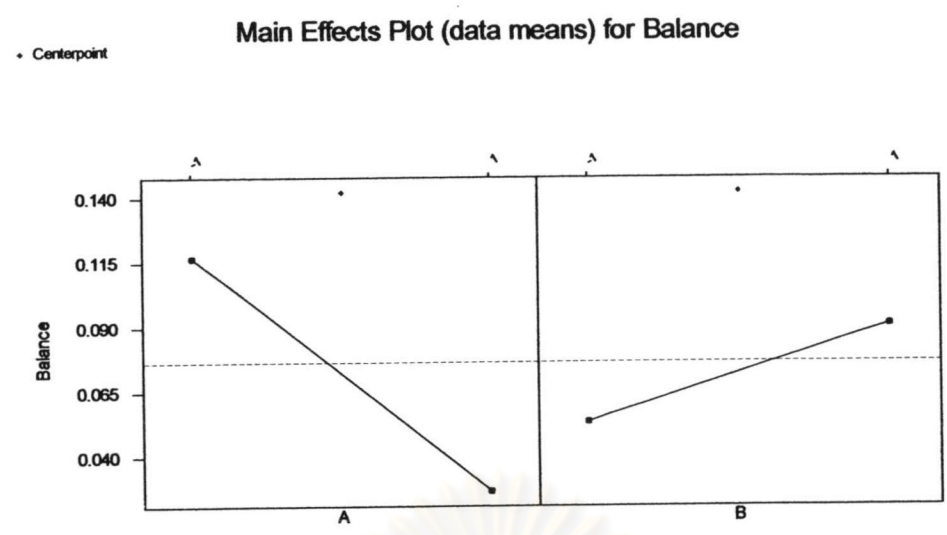


รูปที่ 6.5 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

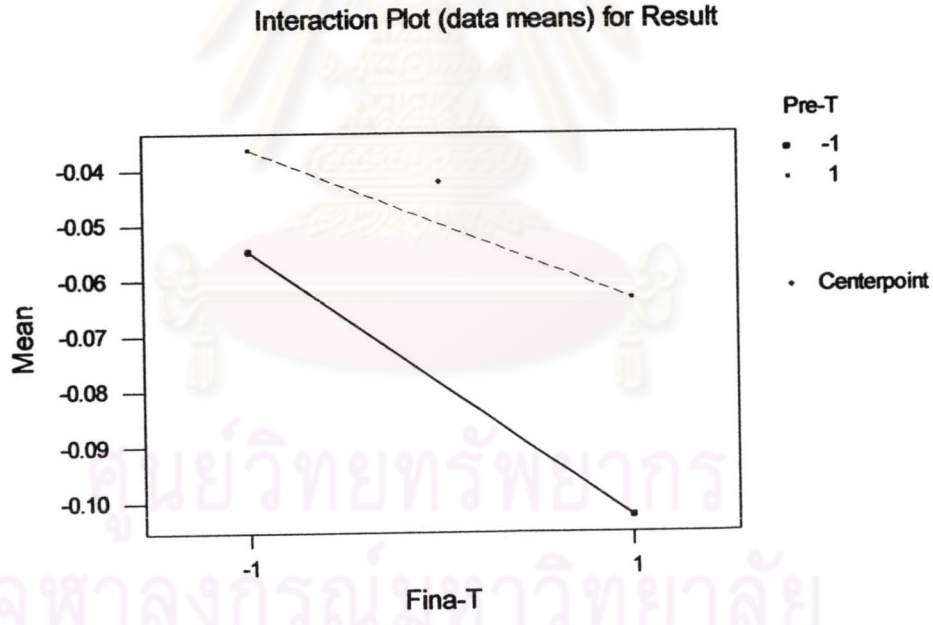


รูปที่ 6.6 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.7 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 6.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)

Fractional Factorial Fit: Result versus Pre-T, Fina-T

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-0.06432	0.004941	-13.02	0.000
Pre-T	0.02892	0.01446	0.004941	2.93	0.005
Fina-T	-0.03757	-0.01879	0.004941	-3.80	0.000
Pre-T*Fina-T	0.01042	0.00521	0.004941	1.05	0.295
Ct Pt		0.02212	0.019390	1.14	0.258

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.040474	0.040474	0.020237	11.51	0.000
2-Way Interactions	1	0.001956	0.001956	0.001956	1.11	0.295
Curvature	1	0.002287	0.002287	0.002287	1.30	0.258
Residual Error	72	0.126555	0.126555	0.001758		
Pure Error	72	0.126555	0.126555	0.001758		
Total	76	0.171272				

จากผลการทดลองใน ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ อันตรกิริยา (Interaction Effect) ไม่มีนัยสำคัญ

ปัจจัยหลัก (Main Effect)

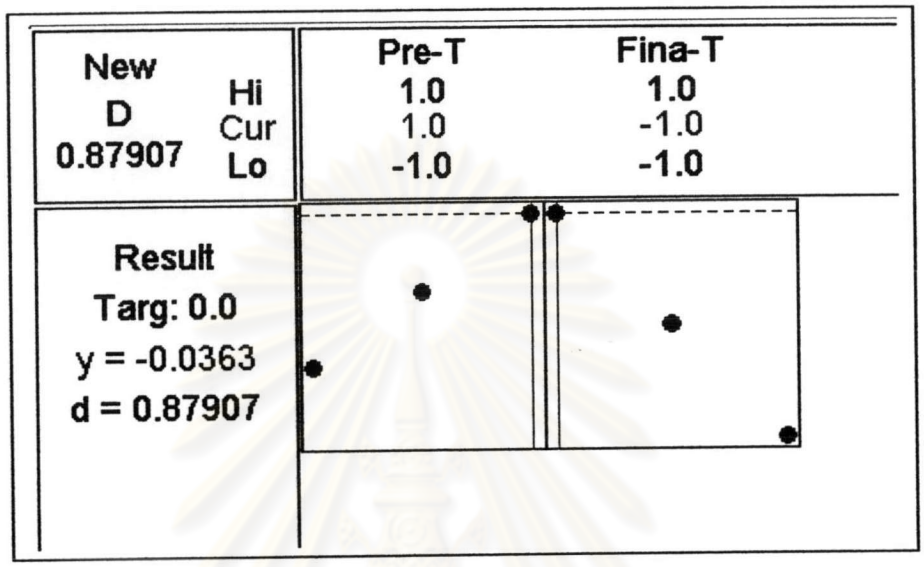
- แรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)
- แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque

ส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Point) แสดงถึงรูปแบบของการทดลองที่ไม่มีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น โดยดูได้จากค่า Curvature ในตารางที่ 6.4 ที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.258 ซึ่งมากกว่า 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.7 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นจึงสามารถที่จะสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^2 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 18 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 5 จุด



รูปที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากรูปที่ 6.9 สามารถสรุประดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ
แรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)	0.8 in.lb
แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque	2.4 in.lb

อย่างไรก็ตามการทดลองเป็นการทดลองที่ใช้แรงในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลช่วง 0.4 – 0.8 in.lb และแรงในการหมุนสกรูหลังการปรับดุลช่วง 2.4 – 4.4 in.lb ซึ่งช่วงแรงในการหมุนสกรูดังกล่าวอาจจะยังไม่ครอบคลุมค่าที่ดีที่สุดที่ส่งผลให้ได้ค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการปรับดุลน้อยที่สุด

ดังนั้นเพื่อจะหาจุดที่ดีที่สุดจึงต้องทำการทดลองเพิ่มโดยการขยายช่วงของปัจจัย (modify Design) โดยแรงที่ใช้ในการหมุนสกรูทั้งก่อนการปรับดุลช่วง 0.2 – 1.0 in.lb และหลังการปรับดุลช่วง 1.4 – 5.4 in.lb โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองโดยการขยายช่วงปัจจัย (Mofify Design)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Pre-T	Fina-T	Result
13	1	1	1	0.2	1.4	-0.037
24	2	1	1	1	5.4	-0.0625
71	3	1	1	0.2	5.4	-0.067
64	4	1	1	1	5.4	-0.0622
62	5	1	1	1	1.4	-0.101
41	6	1	1	0.2	1.4	-0.043
11	7	1	1	0.2	5.4	-0.129
20	8	1	1	1	5.4	-0.048
68	9	1	1	1	5.4	-0.104
12	10	1	1	1	5.4	-0.002
26	11	1	1	1	1.4	-0.104
6	12	1	1	1	1.4	0.027
33	13	1	1	0.2	1.4	-0.055
21	14	1	1	0.2	1.4	0.056
55	15	1	1	0.2	5.4	-0.1
77	16	0	1	0.6	3.4	-0.039
17	17	1	1	0.2	1.4	-0.02
76	18	0	1	0.6	3.4	-0.041
43	19	1	1	0.2	5.4	-0.044
73	20	0	1	0.6	3.4	-0.057
66	21	1	1	1	1.4	0.04
14	22	1	1	1	1.4	-0.001
8	23	1	1	1	5.4	-0.094
7	24	1	1	0.2	5.4	-0.053
60	25	1	1	1	5.4	-0.1
52	26	1	1	1	5.4	-0.08
34	27	1	1	1	1.4	-0.012
49	28	1	1	0.2	1.4	-0.045
27	29	1	1	0.2	5.4	-0.101
57	30	1	1	0.2	1.4	-0.02
29	31	1	1	0.2	1.4	-0.126
36	32	1	1	1	5.4	-0.038

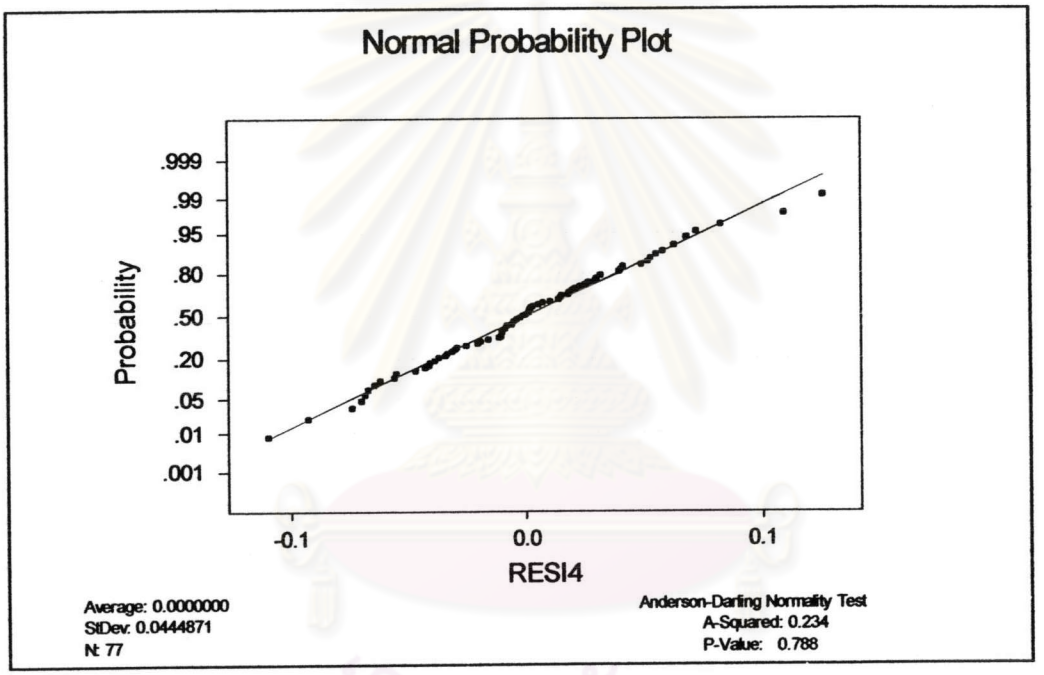
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

54	33	1	1	1	1.4	0.006
16	34	1	1	1	5.4	-0.032
32	35	1	1	1	5.4	-0.086
35	36	1	1	0.2	5.4	-0.118
50	37	1	1	1	1.4	-0.002
47	38	1	1	0.2	5.4	-0.117
38	39	1	1	1	1.4	-0.018
3	40	1	1	0.2	5.4	-0.029
51	41	1	1	0.2	5.4	-0.092
4	42	1	1	1	5.4	0.012
44	43	1	1	1	5.4	-0.081
46	44	1	1	1	1.4	-0.039
69	45	1	1	0.2	1.4	-0.118
61	46	1	1	0.2	1.4	-0.045
65	47	1	1	0.2	1.4	-0.08
18	48	1	1	1	1.4	-0.041
10	49	1	1	1	1.4	-0.049
67	50	1	1	0.2	5.4	-0.11
1	51	1	1	0.2	1.4	-0.141
39	52	1	1	0.2	5.4	-0.143
53	53	1	1	0.2	1.4	-0.065
48	54	1	1	1	5.4	-0.098
70	55	1	1	1	1.4	-0.053
74	56	0	1	0.6	3.4	-0.035
2	57	1	1	1	1.4	-0.107
63	58	1	1	0.2	5.4	-0.173
5	59	1	1	0.2	1.4	-0.083
23	60	1	1	0.2	5.4	-0.152
37	61	1	1	0.2	1.4	-0.024
58	62	1	1	1	1.4	-0.087
40	63	1	1	1	5.4	-0.053
9	64	1	1	0.2	1.4	0.038
75	65	0	1	0.6	3.4	-0.039
42	66	1	1	1	1.4	-0.031
15	67	1	1	0.2	5.4	-0.145
72	68	1	1	1	5.4	-0.083
22	69	1	1	1	1.4	-0.062
28	70	1	1	1	5.4	-0.06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19	71	1	1	0.2	5.4	-0.054
56	72	1	1	1	5.4	-0.07
25	73	1	1	0.2	1.4	-0.127
30	74	1	1	1	1.4	-0.019
31	75	1	1	0.2	5.4	-0.113
59	76	1	1	0.2	5.4	-0.11
45	77	1	1	0.2	1.4	-0.051

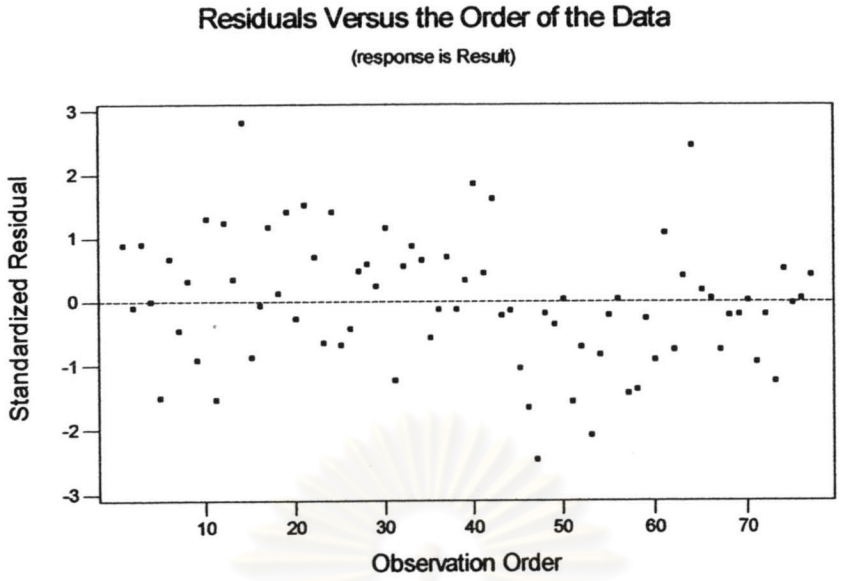
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งกราฟการกระจายจองค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง ที่ได้เป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ดังรูปที่ 6.10



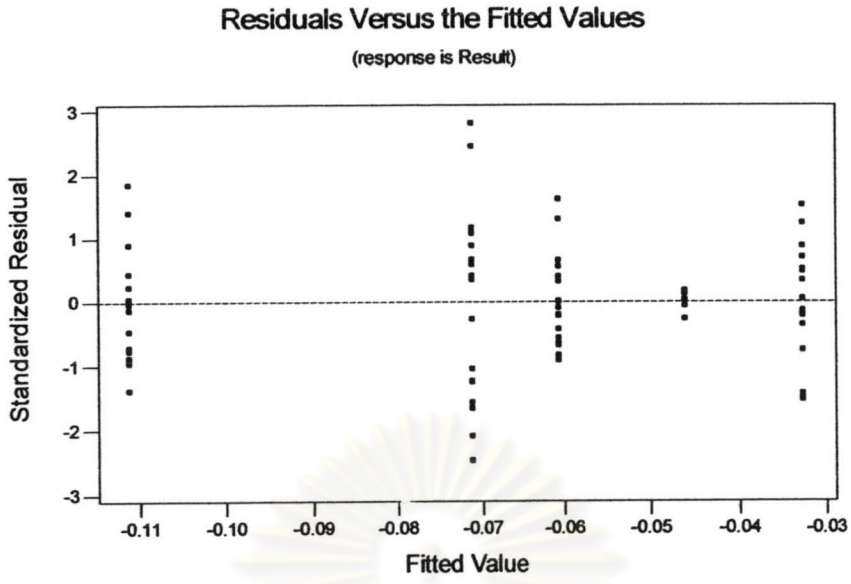
รูปที่ 6.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.11 ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 6.12 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะจะมีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่แน่นอน

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID $(0,\sigma^2)$

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยการขยายช่วงของปัจจัยพบว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ อันตรกิริยา (Interaction Effect) ไม่มีนัยสำคัญ

ปัจจัยหลัก (Main Effect)

- แรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)
- แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque

ส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Point) แสดงถึงรูปแบบของการทดลองที่ไม่มีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น โดยดูได้จากค่า Curvature ในตารางที่ 6.7 ที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.282 ซึ่งมากกว่า 0.05

ตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)

Fractional Factorial Fit: Result versus Pre-T, Fina-T

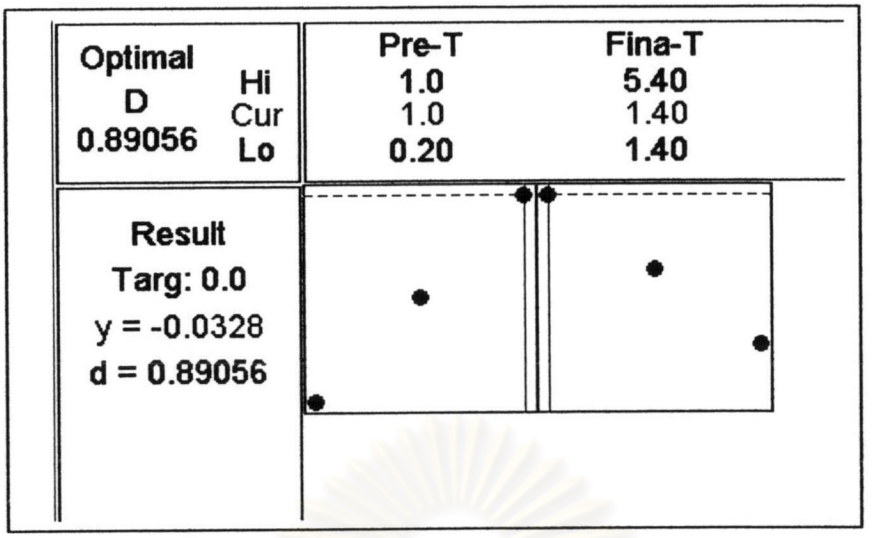
Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-0.06910	0.005387	-12.83	0.000
Pre-T	0.04453	0.02226	0.005387	4.13	0.000
Fina-T	-0.03408	-0.01704	0.005387	-3.16	0.002
Pre-T*Fina-T	0.00608	0.00304	0.005387	0.56	0.574
Ct Pt		0.02290	0.021138	1.08	0.282

Analysis of Variance for Result (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.056599	0.056599	0.0282996	13.55	0.000
2-Way Interactions	1	0.000666	0.000666	0.0006661	0.32	0.574
Curvature	1	0.002451	0.002451	0.0024512	1.17	0.282
Residual Error	72	0.150412	0.150412	0.0020891		
Pure Error	72	0.150412	0.150412	0.0020891		
Total	76	0.210128				

เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นจึงสามารถที่จะสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^2 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 18 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 5 จุด



จากรูปที่ 6.12 สามารถสรุประดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ
แรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)	1 in.lb
แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque	1.4 in.lb

จากตารางที่ 6.8 พบว่าค่าแรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)ที่เหมาะสมคือ 1 in.lb และค่าแรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque คือ 1.4 in.lb แต่มีข้อจำกัดอยู่ว่าแรงที่ใช้ในการหมุนสกรูก่อนและหลังการปรับดุลต้องตามค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์กล่าวคือแรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)ต้องอยู่ในช่วง 0.4-0.8 in.lb การใช้แรงออกนอกค่ากำหนดจะทำให้การปรับดุลทำได้ยาก และ แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque ต้องอยู่ในช่วง 2.4 – 4.4 in.lb การใช้แรงออกนอกค่ากำหนดจะทำให้มีผลต่อความสามารถในการยึดแผ่นบันทึกข้อมูล ดังนั้นค่าที่เลือกใช้แสดงดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

ปัจจัย	การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ
แรงหมุนสกรูก่อนปรับดุล (Pre-Torque)	0.8 in.lb
แรงหมุนสกรูในขั้นตอนการทำ Final Torque	2.4 in.lb

6.8 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 2 ปัจจัย มาทำการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^2 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 18 ครั้ง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Point) เข้าไป 5 จุด จากการทำการทดลองพบว่า สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องจากรูปแบบการทดลองนี้ได้ เนื่องจากรูปแบบของการทดลองไม่มีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น

ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลต่อค่าความสมดุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย